

IV-53

ドライビングシミュレーションによる長大トンネル走行時の
ドライバー挙動と意識に関する研究

北海道開発局開発土木研究所 正員 下條 晃裕
同上 正員 高木 秀貴
同上 正員 大沼 秀次

1. まえがき

今日、海峡横断構想に関する論議が盛んに行なわれているが、このような新交通軸の技術的課題は、長大構造物の建設技術と防災上の観点からの安全対策にあることが予想される。特にトンネル構造物は長い閉塞空間が続くことから安全性はもとより運転者の快適性に配慮した新たな技術開発が要請される。

このような課題は、将来的には自動運転システムという形で検討していく必要があるが、その際には道路-自動車-人間系のインターフェイスの関係を科学的に把握する必要がある。言い換えれば、ヒューマンファクタの要素を道路構造にどの程度反映し、その要素を想定した管理運用方策を検討することが重要であると思われる。

本研究は、ドライビングシミュレータを用いることにより延長約2.7kmの直線トンネル（北海道噴火湾横断水中トンネルのケーススタディ）を仮想現実として再現させ、トンネル内の路肩幅員の変化及び距離情報を提供することの有無による、運転者の走行挙動及び走行時の意識を調査し、長大トンネル走行時における運転者からみた道路環境に対する課題を検討したものである。

2. ドライビングシミュレータの概要

開発土木研究所のドライビングシミュレータは道路走行及び道路環境の検討を主な用途として開発されたもので、視野角は水平約40度、垂直約30度である。映像の模擬はCGI方式を用い、道路構造や道路環境が容易に変更できるという利点を有する。また、図-1に示すように模擬運転席は実車を改造したものであり、運転時の臨場感を高めるように配

慮している。ただし、車体の運動は舗装による上下方向の振動のみを模擬している。

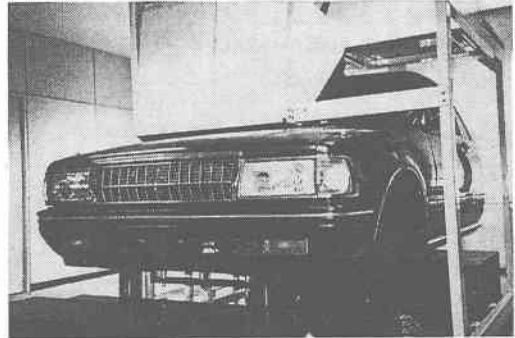


図-1 ドライビングシミュレータの外観

3. 実験の概要

3-1 道路構造

長大トンネルでは長時間運転者が閉塞された空間を運転するために、心理的な負荷が通常の走行状態よりも大きいと予想される。このため、負荷を軽減させる方策は主にトンネル断面や道路幅員等の道路構造に関連する事項と照明や壁面のカラーリング及び道路情報など付属施設に関連する事項に大別できる。

今回は、広範に問題点を抽出することを意図し、図-2のような断面のもとで、標準的な幅員構成と中央側の側帯を拡幅した幅員構成を用いた。なお、道路規格は第1種第3級相当を想定した。

図中のTYPE1は右側路肩を規定値にして左側路肩を望ましい幅員（全路肩）にした。しかしながら、従来のトンネル断面よりも天井が非常に高いことに加え、右側路肩幅員が0.75mであるため、往復交通流を分離する隔壁が単路部の中央分離施設と比較して、ドライバーに相当圧迫感を与えることが予想され

る。したがって、TYPE 2のように左側路肩を規定値の1.75m(半路肩)として、結果的に右側路肩を1.5mにする幅員構成も検討の対象とした。

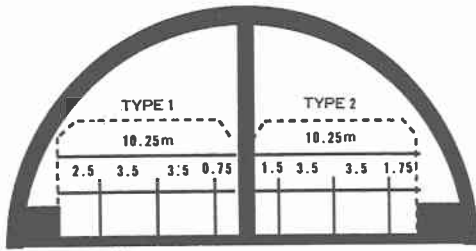


図-2 横断面の構成

線形は全て直線で、シミュレーションコースの延長は30kmである。このうち、トンネル延長は26.8kmであり、前後にトンネルへの取り付け道路として約2kmの単路部を設ける。また、トンネルの出入口付近は縦断勾配3%を付した。

3-2 実験条件

トンネルの断面形状は図-2に示すとおりであり、道路幅員の組み合わせによっては隔壁の圧迫感により右側車線の利用効率が著しく低下することが懸念される。また、延長約27kmの単調な空間であるために距離情報の適切な提供などによるドライバーの心理的な負荷を軽減させるような方策を今後検討する必要があることに配慮した。

したがって、実験条件としては以下の3要因について各要因を2種類設定し、合計8条件で実験を行なった。

(1) 幅員構成

- ・ TYPE 1 2.50-3.50-3.50-0.75(w=10.25m)
- ・ TYPE 2 1.75-3.50-3.50-1.50(w=10.25m)

(2) 走行車線

- ・ 右車線
- ・ 左車線

(3) トランシーバによる出口までの道路距離の提供

- ・ 被験者の要求に応じて提供する
- ・ 提供しない

被験者は開発土木研究所職員のうち20歳代

から50歳代までそれぞれ5名程度で構成される20名で、各被験者が8つの実験条件全てを走行した。その結果、サンプル数の合計は160サンプルとなり、各実験条件についてはそれぞれ20サンプルを得た。

走行条件は、実験条件で示した車線を車線変更することなく100km/h程度の走行速度(道路構造令上は第1種第3級 設計速度80km/h)で走行することを許容し、実質的に規制速度が100km/hであるような設定を行なった。

測定はシミュレーションコースで500m毎にその地点の走行速度と走行位置(横方向の車両通過位置)の測定を行なうとともに、トランシーバを用いた実験ケースではトランシーバの利用地点及びその地点の通過時刻を記録した。また、各被験者の走行後に走行に関する意識を質問紙によって調査した。

3-3 長大トンネルの模擬画像

長大トンネルの模擬画像を図-3に示す。この図ではドライバーの視点中心が右車線の中央部にあり、TYPE 1とTYPE 2の右側路肩の幅員の違い(幅員差75cm)を認めることができる。

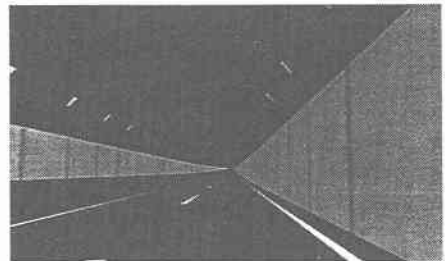


図-3-a TYPE 1

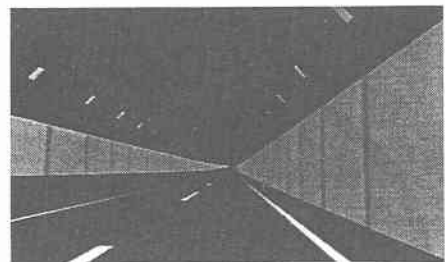


図-3-b TYPE 2

4. 走行挙動

4-1 走行速度¹⁾

幅員構成別及び車線別に平均走行速度を集計すれば110～115km/hの範囲にあり、規制速度とした100km/hを上回っている(表-1)。トンネルの交通流の観測事例からすれば、規制速度よりも走行速度は高くなる傾向にあり、単独車両の走行であればその傾向が著しいと指摘されていることを踏まえれば、速度の傾向としては現実に近い値であると思われる。また、標準偏差も11km程度であり、通常の昼間の速度調査の標準偏差と比較しても大きな差異が認められない。したがって、走行速度としては良好な値が観測されていると思われる。

表-1 平均走行速度

単位: km/h

車線	幅員構成	平均走行速度	標準偏差
左車線	TYPE 1	110.7	11.08
	TYPE 2	114.0	14.27
右車線	TYPE 1	113.0	11.50
	TYPE 2	115.3	11.70

幅員構成別にみるとTYPE 2は走行車線及び追越車線ともにTYPE 1よりも走行速度が高く、走行する車線と比べると、右車線での走行速度がどちらのタイプでも高くなっている。しかしながら、その差は1～2km程度にすぎず、明確な差異は生じていない。被験者の7～8割が走行後に「希望する速度で走行できた」と回答していることを踏まえると、実験での走行速度の比較は、規格の高い道路構造を前提とした車線運用方法の比較であるあるために、明確な速度の差が現われなかったものと思われる。

延長方向の地点別平均走行速度の推移は図-4に示すとおり、幅員構成及び車線によらず、似たような傾向を示している。しかしながら、トンネル入口から1kmの間については、縦断勾配は下り勾配であるにもかかわらず、速度が低下している。速度低下の度合はTYPE 1の右車線が8km低下しているほかは、速度の低下は5km/h程度である。このこ

とから、TYPE 1の追越車線は右側路肩が0.75mと他の条件の路肩幅員に比べて小さいことから、走行速度が他の条件よりも低下しているとも考えられる。

トンネル入口部の速度低下は、一般的に縦断線形が凸型である高速道路トンネルでも観測され、速度低下はトンネル手前から入口付近にかけて起こるのが普通である。しかし、長大トンネルではトンネル進入後1kmにわたり速度が低下している。

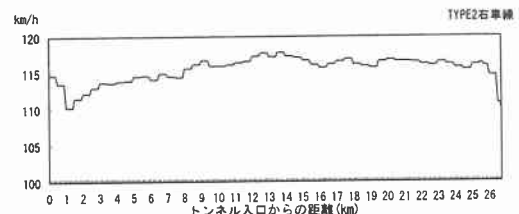
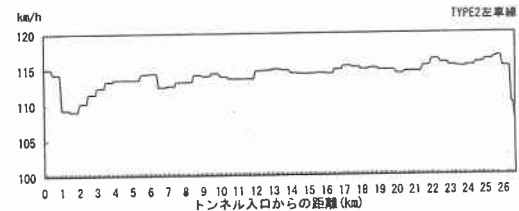
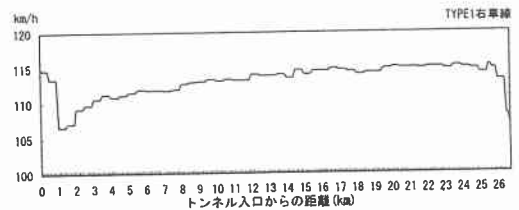
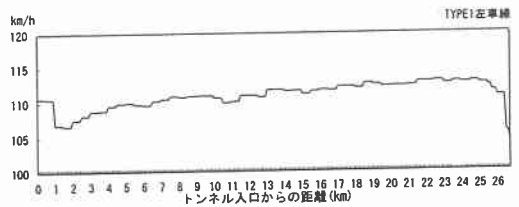


図-4 延長方向の地点別平均走行速度

その大きな要因は、本実験のシミュレーションコースでトンネル入口までのアプローチ部を2 km程度に設定したため、アプローチ部の短いことも影響していると思われるが、縦断線形が下り勾配であるためにトンネル内部に進入してからも速度調整が行なわれることが関係していると考えられる。すなわち、トンネル入口部から1 km程度が減速領域になっていることが示唆される。

一方、トンネル出口付近でも速度の低下が見られている。出口付近は上り勾配であることからアクセル踏量を一定にしても自然と速度が低下する、またドライバーが出口に達したという安堵感等の心理的な影響が、速度の低下要因になっていると考えることができる。

4-2 走行位置

平均走行位置は表-2に示すとおり、幅員構成及び車線によっても大きな差はみられない。外側線及び車線境界線から車両の左端の距離で示せば、TYPE 1の右車線(右側路肩 $w=0.75m$)を除き、おおよそ0.5mである。

表-2 平均走行位置

		単位: m	
		走行位置	標準偏差
左車線	TYPE1	0.474	0.052
	TYPE2	0.457	0.059
右車線	TYPE1	0.409	0.068
	TYPE2	0.470	0.049

その要因は図-3に示したCGI画像の区画線が明瞭なため、被験者は区画線を目安にして走行していると見受けられる。実際、質問紙調査では9割の被験者が区画線の視認性が良いと回答している。さらに、64%が区画線の間には車体を置くように走行することを心掛けており、23%が車線境界線に沿って走るように心掛けている。すなわち、87%が車線境界線を意識しながら走行していることがわかる。このようなことを考慮すると、今回のように視覚対象物が極めて少なく、区画線が明瞭に視認できる場合においては、ドライバーはトンネル壁面よりも区画線を視線誘導施設

として利用しながら、車線境界線を逸脱しないように意識して運転していることがうかがえる。

このように、区画線はトンネル走行における視線誘導に最も大きな役割を果たすものと思われ、区画線の視認性を良好な状態に維持することが望まれる。

延長方向の地点別平均走行位置は図-5に示す。

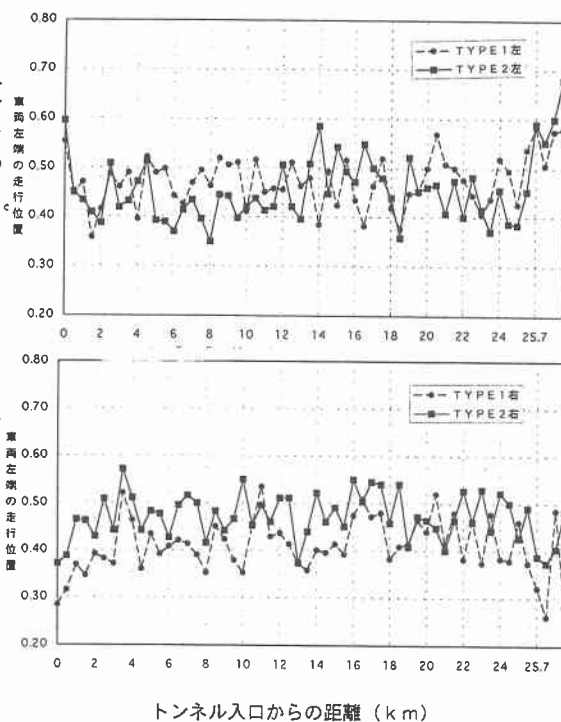


図-5 地点別走行位置 単位m

一方、トンネル入口付近では左車線は入口より2km地点まで走行位置が路肩に寄っていく軌道になっている。また、右車線では、3.5km地点まで中央に寄っていく軌道を描いている。このことは明り部からトンネルに進入したときにドライバーが車線を逸脱しないように運転しようとするため、区画線よりもトンネル壁面を視線誘導施設として用いている可能性が高い。

25km地点を過ぎたあたりからは、それぞれ車線境界線に向って走行位置が推移している。25km地点で被験者は初めて「出口1km」と記したトンネル内唯一の距離標識を視認するこ

とができる。すなわち、走行速度で論じたように、まもなく出口に到達するという安堵感がこのような走行位置の推移に現れているものと思われる。

また、距離の平均値は車線を逸脱しない範囲内で適度に変動しているが、右車線では20km地点を過ぎたあたりから、変動幅が大きくなってきている。このような変動は車線を逸脱するような大きな変動ではないが、右車線固有の傾向であると考えられる。すなわち、中央の隔壁との距離を保ちながら長時間閉鎖された空間を運転することによって生じるものであるとも解釈できる。

5. ドライバーの意識

幅員構成及び車線によるドライバーのトンネル走行に対する評価をSD法によって調

査した。評価基準は5段階としたが、最上位及び最下位の回答率がきわめて小さかった。したがって、表-3に示す項目の選択率の差を検定することによって車線毎の幅員構成による差異を求めた。

左車線で5%以上の有意水準を超えるものは、「中が広い」であり路肩幅員75cmの差異が現われているものと考えられる。すなわち、視野角が40度程度のシミュレータでも幅員差を感じることができるとを裏付けるものと思われる。右車線については、「右の壁が近くて気になる」と回答した比率はTYPE1で高くなっているものの、統計的には有意とはなっていない。しかしながら、「壁から圧迫を受けた」「出口が待ち遠しい」「出口が見えなくて不安」という項目で有意水準5%以上の差異が認められる。

表-3 被験者の回答率と幅員構成及び車線毎の差異

項目	左車線			右車線		
	TYPE1	TYPE2	t値	TYPE1	TYPE2	t値
中が広い	0.73	0.48	2.28 *	0.53	0.43	0.90
天井が高い	0.65	0.75	-0.98	0.65	0.68	-0.24
照明が明るい	0.50	0.63	-1.13	0.48	0.55	-0.67
路面が明るい	0.48	0.65	-1.58	0.53	0.53	0.00
右の壁が近くて気になる	0.05	0.00	1.43	0.78	0.58	1.91
左の壁が近くて気になる	0.13	0.28	-1.68	0.00	0.03	-1.01
白線がよく見える	0.83	0.93	-1.35	0.90	0.85	0.68
普段より緊張した	0.45	0.30	1.39	0.43	0.35	0.69
眠くなった	0.40	0.50	-0.90	0.38	0.43	-0.46
壁から圧迫を感じた	0.15	0.23	-0.86	0.70	0.45	2.26 *
休憩したかった	0.40	0.35	0.46	0.40	0.43	-0.23
疲れた	0.55	0.45	0.89	0.58	0.45	1.12
走行距離が気になる	0.63	0.68	-0.47	0.58	0.55	0.23
快適に運転できた	0.23	0.28	-0.52	0.23	0.30	-0.76
いらいらした	0.10	0.15	-0.68	0.13	0.08	0.75
出口が待ち遠しい	0.68	0.60	0.70	0.73	0.43	2.71 **
希望する速度で走行できた	0.75	0.83	-0.82	0.78	0.73	0.52
息苦しくなった	0.30	0.20	1.03	0.25	0.15	1.12
出口が見えなくて不安	0.25	0.28	-0.25	0.38	0.15	2.29 *
いつ衝突するか不安	0.18	0.20	-0.29	0.25	0.30	-0.50
途中で止まりたかった	0.30	0.25	0.50	0.23	0.20	0.27
注意力がとぎれる	0.55	0.38	1.57	0.48	0.53	-0.45

*有意水準5%、**有意水準1%

すなわち、TYPE 1の右車線ではドライバーがかなりの心理的負荷のもとで運転していることが示唆される。

このことは、ドライバーが区画線を視線誘導施設として利用しながら運転しているにもかかわらず、中央部のトンネル壁の圧迫感が図-5に示した走行位置の変動パターンがTYPE 1とTYPE 2で異なっていることからわかる。図-6はそれを明確に表わすために、ある地点*i*と次の地点*i+1*の相関図を描き、順を追って線分にして示した図である。TYPE 2は、主として平均値まわりでの変動が卓越しており、小刻みに走行位置が変化している様子が読み取れる。一方、右側路肩が狭いTYPE 1では大きく走行位置が変化する箇所が多く存在することがわかる。すなわち、TYPE 1ではドライバーはトンネル壁の影響を徐々に受けながら走行するために、次第に走行位置が車線境界線に近づき、車線を逸脱しないようなハンドル操作を行なった結果、走行位置が大きく変化するものであると思われる。その一方、TYPE 2では壁との側方余裕幅が大きいため、車線内で適度に走行位置が変動していると解釈できる。

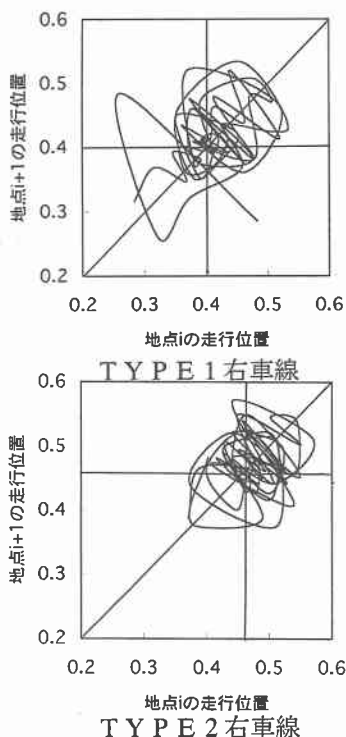


図-6 走行地点間の走行位置の軌道の経路

6. 考察

長大トンネル走行時には、ドライバーは区画線を視線誘導施設として利用しながら、車線境界線を逸脱しないように意識して運転していると思われる。すなわち、区画線はトンネル走行における視線誘導に最も大きな役割を果たしていると指摘できる。さらに、右側路肩が0.75mと狭い幅員構成ではトンネル入口部の速度低下や走行位置の変動の傾向が他の条件と異なり、右側の壁に対する圧迫感等のドライバーに対する心理的な負荷を助長させる傾向にある。したがって、ドライバーの走行の快適性や安全性を向上させるために、右側路肩を0.75mよりも広くするような幅員構成が望ましい。

また、出口付近では全ての条件で速度が低下し、走行位置が車線境界線に寄る傾向にある。これには、縦断線形によるものに加えてドライバーの安堵感などによる心理的な影響が関係しているものと思われることから対策に関する調査研究を引き続き行なう必要があると思われる。

7. おわりに

ドライビングシミュレータを用いた長大トンネルの走行実験によって速度、走行位置等の走行特性値を通じてその背後にあるドライバー意識に起因した走行挙動について考察を行なった。本研究のようにシミュレーションによって道路を計画する際の基本的な構造諸元を事前に評価することは有用であることが明らかになった。また、走行位置や走行速度の変動については、今回のような単調な道路構造の場合は、ある程度、ドライバーの意識と行動が整合されていることが明かとなった。覚醒水準に関するヒューマンファクタの研究は心理・生体の観測によっておこなわれているが、本研究のように車両の走行軌跡等で把握する可能性の端緒を見出だしたように思われる。しかしながら今回用いた行動データは個人サンプルから得た平均値に拠っている。今後は個人特性や時間経過に対する解析方法や評価方法の検討を進めることが重要であると思われる。

参考文献

- 1) ドライビングシミュレータを利用した長大トンネルにおける走行挙動に関する研究, 開発土木研究所月報, 1995年9月